



Stage Estivi 9/6 - 27/6/2003
Elettronica - Gruppo Kloe

Regolatori di tensione switching
per applicazioni nel campo dei rivelatori di particelle elementari

Stagisti:

Caggiano Paolo
Cerocchi Adriano
Consoli Diego
Cremona Fabio
Di Bona Mauro
Sales Emanuele

Tutors:

Paolo Ciambrone

Giovanni Corradi

Regolatore Colpitts

Il circuito da noi analizzato é parte di un complesso dispositivo atto a misurare correnti dell'ordine dei nanoampere in applicazioni ad alta tensione (5KV ca.)

Questo dispositivo viene utilizzato nell'esperienza Kloe ed è necessario per misurare le correnti medie nel rivelatore a DRIFT, i cui fili sono alimentati a circa 3KV.

Il progetto si basa sulla realizzazione di un oscillatore Colpitts utilizzato e come alimentatore switching, per ottenere una tensione di uscita continua regolata con un isolamento rispetto a massa di 5KV.

Il circuito può essere suddiviso in due parti: oscillatore e filtro d'uscita.

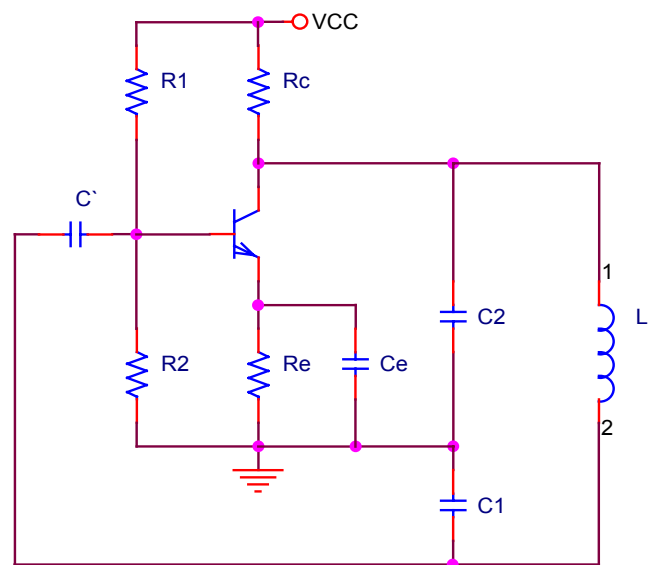
Gli oscillatori sono dei dispositivi che consentono la conversione di una tensione continua d'alimentazione, in una tensione d'uscita variabile nel tempo, come ad esempio una forma d'onda sinusoidale.

Consideriamo un oscillatore costituito da un amplificatore, la cui amplificazione è A , e da una rete di reazione, la cui funzione di trasferimento è β . La condizione affinché si abbia un segnale d'uscita X_u , applicando un segnale in ingresso X_i , è: $X_u = (A/(1-\beta)) * X_i$. L'oscillazione è $A\beta=1$. Quest'ultima condizione è detta *criterio di Barkhausen*: essa impone che per avere oscillazione ad una data frequenza, il guadagno della maglia ad anello aperto $A\beta$ deve essere unitario, lo sfasamento totale introdotto da amplificatore e rete di reazione deve essere nullo.

L'oscillatore da noi utilizzato segue lo schema di Colpitts opportunamente modificato per le specifiche del progetto.

Schema elettrico generale di un oscillatore Colpitts fig.1, con emettitore a massa.

I condensatori $C2$ e $C1$ e l'induttanza L determinano la frequenza d'oscillazione; mentre il condensatore d'accoppiamento C' , riporta il segnale d'uscita all'ingresso. La capacità d'ingresso del BJT si può considerare conglobata in $C1$; la capacità d'uscita si può considerare conglobata in $C2$.

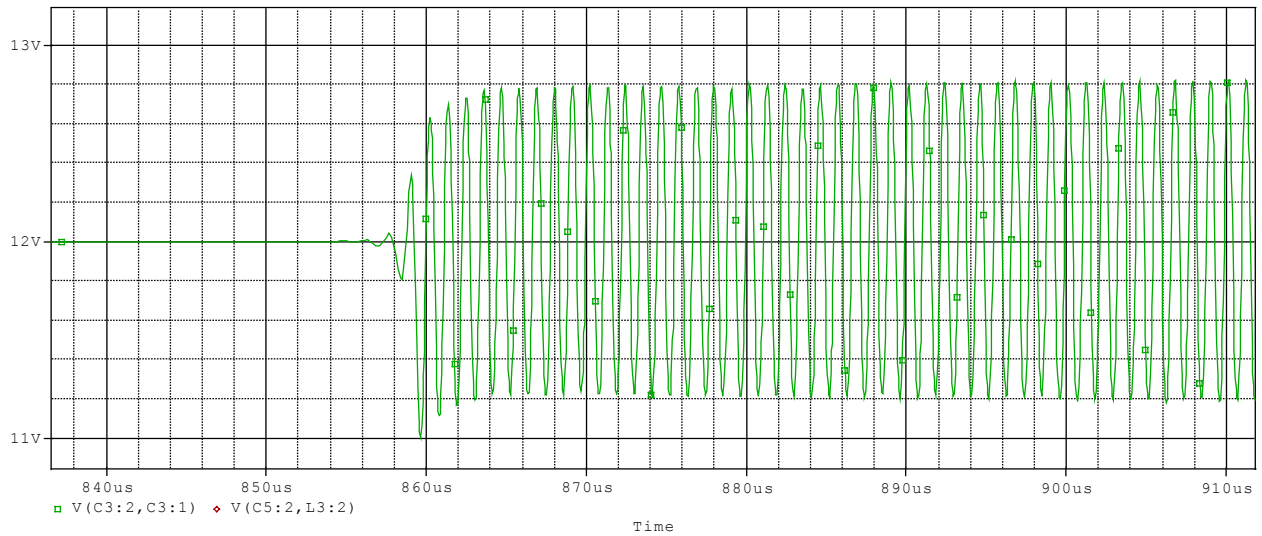


Schema elettrico generalizzato di un oscillatore Colpitts fig.1

Quindi dalla relazione $A\beta=1$ si ottiene che la frequenza d'oscillazione

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{L * \frac{C2 * C1}{C2 + C1}}}$$

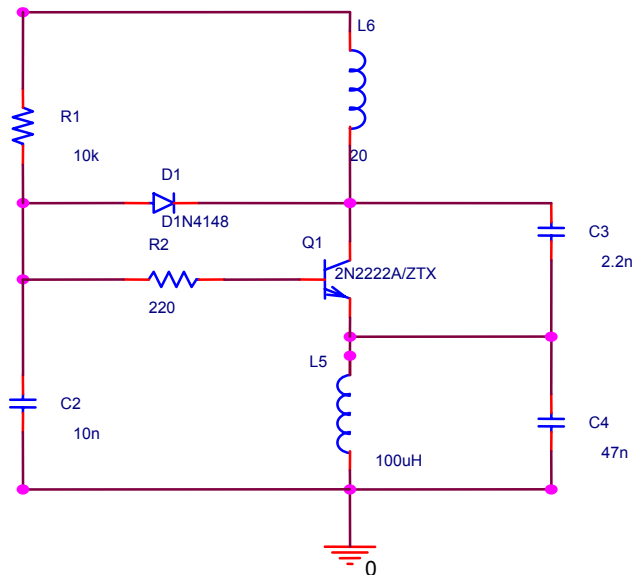
L'oscillazione viene innescata dal rumore dovuto ai componenti presenti nel circuito, come si può ben notare dalla simulazione riportata nel grafico seguente. Il rumore viene amplificato e riportato all'ingresso innescando una reazione positiva che, dopo 'n' cicli, porta alla saturazione del transistor e alla stabilizzazione dell'ampiezza dell'oscillazione.



Innesco dell'oscillazione nell'oscillatore Colpitts

Nel nostro caso l'oscillatore é stato modificato, come nello schema seguente :

K1
EF16_3H2
COUPLING = 1

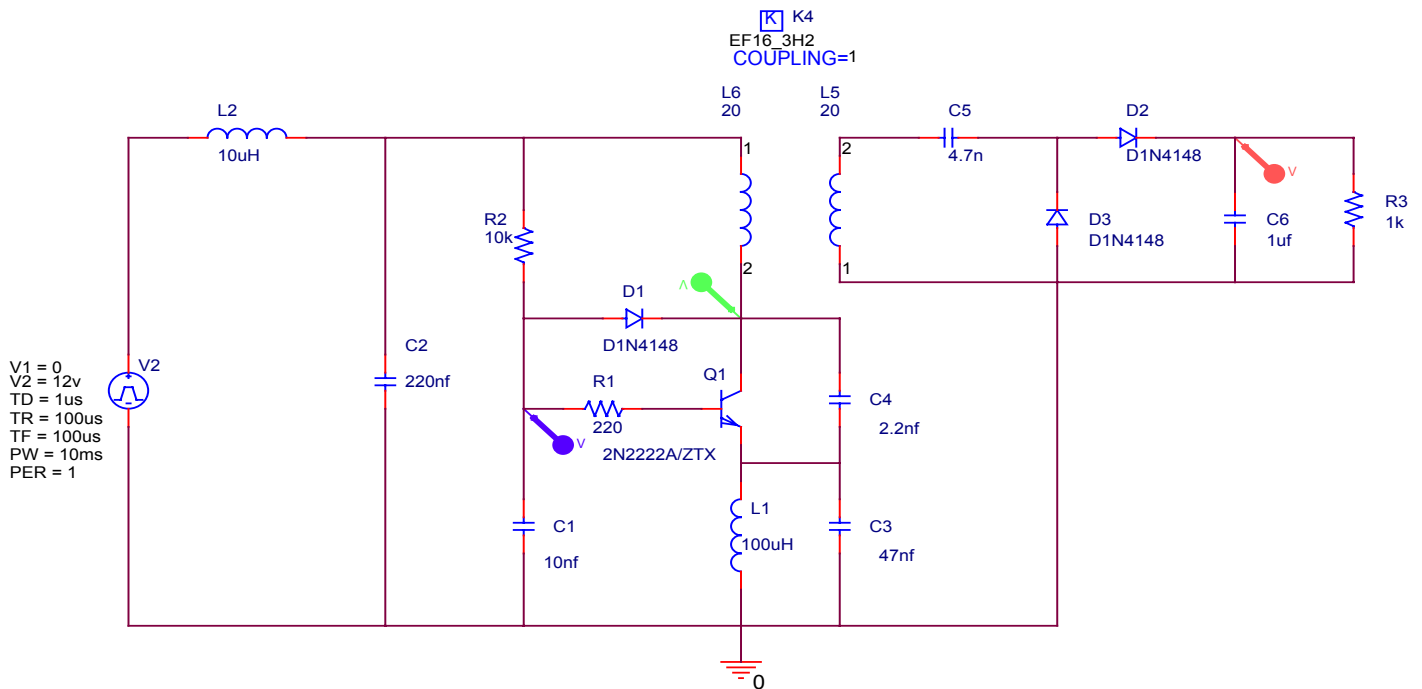


Schema elettrico dell'oscillatore Colpitts da noi realizzato

Nell'analisi del circuito si tenga a mente che L6 é la bobina primaria del trasformatore del nostro circuito.

Analisi circuitale

Lo schema completo del dispositivo è il seguente:



Schema elettrico dell'alimentatore switching da noi realizzato

per poter effettuare la simulazione la tensione d'uscita deve essere riferita a massa, a differenza di quanto accade nel circuito reale dove tale riferimento non esiste e per esigenze dettate dal simulatore, nonché dalla non disponibilità di una tensione flottante di tale valore, il livello di tensione d'uscita è stato riferito rispetto a massa. Nella realtà infatti è possibile far funzionare il circuito anche senza un riferimento di tensione in uscita.

Come appena detto il circuito è flottante a 5KV, per garantire l'isolamento del circuito d'ingresso a bassa tensione è stato inserito un trasformatore a *nucleo tagliato*. I due seminuclei sono stati isolati utilizzando una piastrina (propriamente detto traferro) di vetronite spessa 1mm che, viste le sue proprietà elettriche, ci garantisce un isolamento fino a 7KV. Inoltre il trasformatore ha un rapporto spire $m' = n1/n2 = 1$, in modo da trasferire tutta l'energia del primario sul secondario a meno delle perdite.

Il principio di fondo su cui si basa il circuito è il seguente: noi disponiamo di una tensione continua di 12Volt "V2" riferita a massa, mentre abbiamo bisogno di una tensione riferita a 5KV. Per disaccoppiare le due parti del circuito si trasforma la tensione

primaria "V2" in una tensione alternata per mezzo di un oscillatore, e ci si accoppia tramite un trasformatore alla parte di circuito riferita a 5KV.

A questo punto basta raddrizzare opportunamente per ottenere una tensione continua non più riferita a massa ma flottante

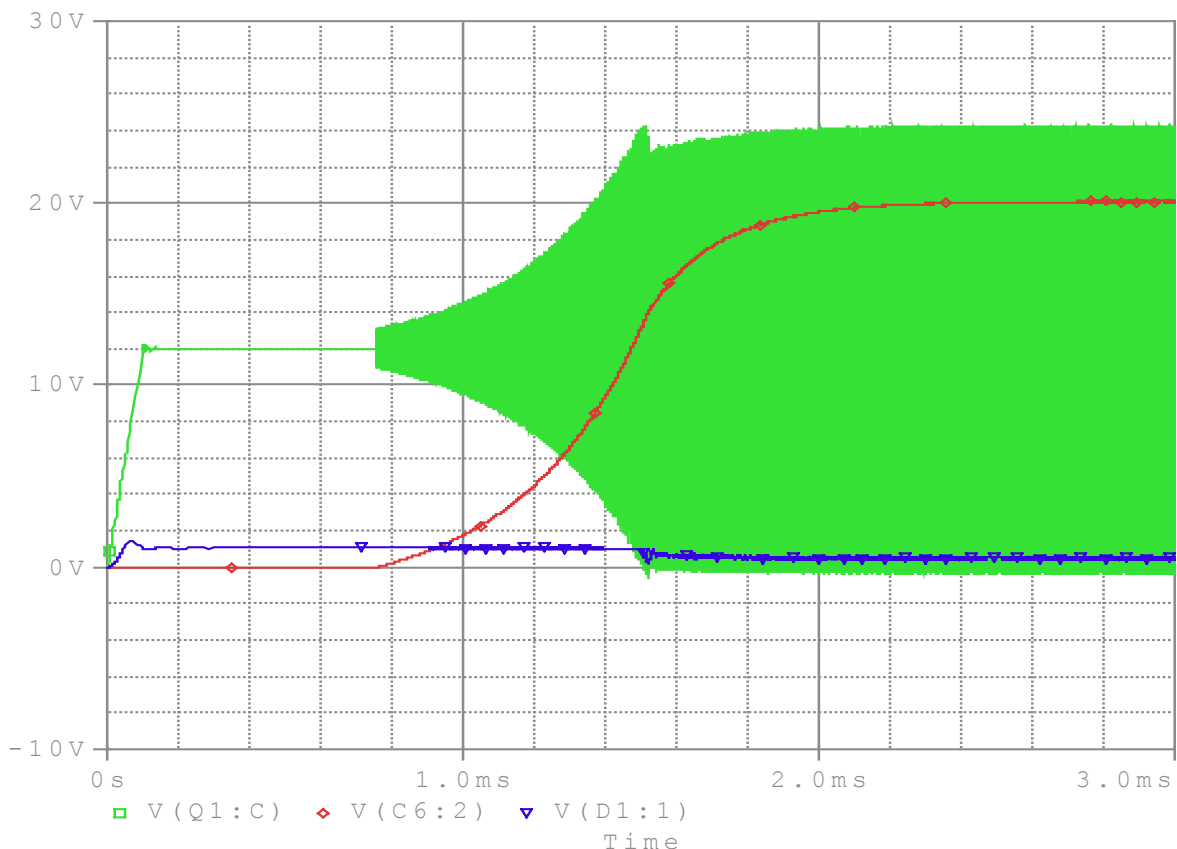
Il circuito oscillatore oltre a convertire la tensione "V2" in una tensione alternata, viene utilizzato anche da driver per pilotare la bobina primaria, cioè, fornisce al primario l'energia necessaria a tenere stabilizzata la tensione di uscita al variare della corrente nel carico. Questo avviene tramite un aumento della frequenza d'oscillazione, che permette al condensatore d'uscita (C6) di caricarsi più velocemente.

L'aumento della frequenza d'oscillazione si ha quando:

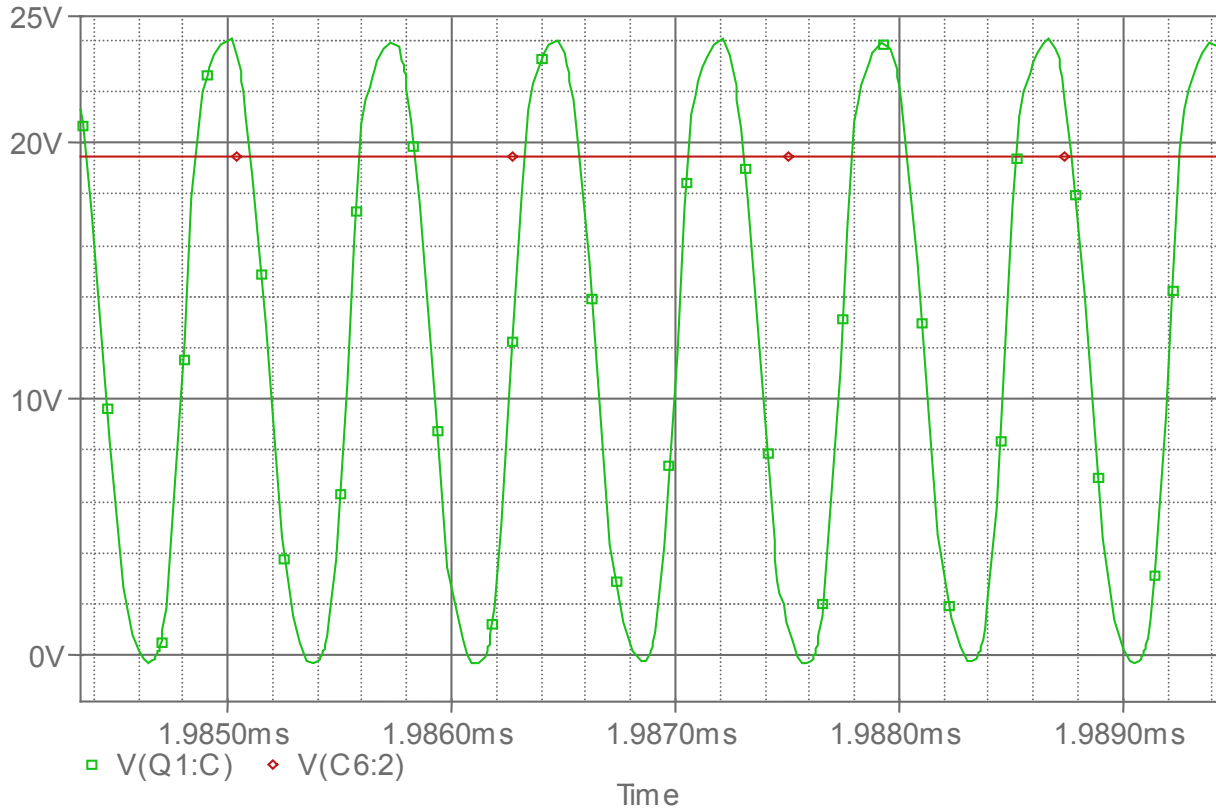
al diminuire del valore del carico (e quindi all'aumentare della corrente) diminuisce anche il valore dell'impedenza equivalente tra i capi del secondario. Essendo il rapporto spire 'm' pari ad 1, il valore dell'impedenza si rispecchia sulla bobina primaria, variando il valore della reattanza induttiva L6 (avvolgimento primario del trasformatore).

Si noti a questo punto come la frequenza subisca un incremento, poiché il suo valore è inversamente proporzionale al valore di L6 stesso:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L6 * \frac{C4 * C3}{C4 + C3}}}$$



Andamento della tensione di uscita (probe rosso), della tensione sul collettore del transistor Q1 (probe verde), e della tensione sulla base (probe blu) in funzione del tempo



Particolare dell'andamento della tensione d'uscita (probe rosso) e della tensione sul collettore (probe verde)

All'aumentare del valore di L6 (e quindi al diminuire della corrente assorbita dal carico), il valore della frequenza diminuisce, mentre al diminuire di L6 (e quindi all'aumentare della corrente assorbita dal carico) la frequenza aumenta.

In uscita, sulla seconda bobina del trasformatore, si trova il circuito raddrizzatore a doppia-semionda.

Abbiamo a questo punto realizzato un alimentatore lineare switching flottante a 5KV perfettamente isolato e stabilizzato.

Passiamo ora alla descrizione di alcuni accorgimenti presi durante la progettazione di questo circuito:

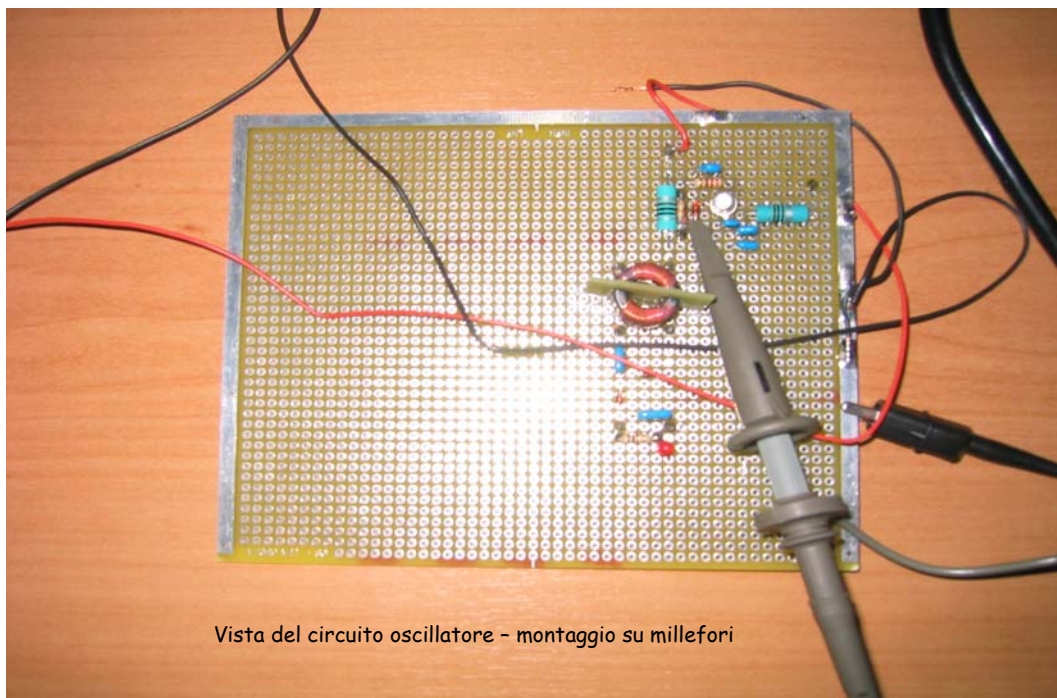
- L2; C2 é un filtro che serve per evitare che le armoniche generate dall'oscillatore vadano ad influenzare eventuali circuiti adiacenti, inoltre C2 serve per compensare le variazioni transitorie di corrente fase di funzionamento.

- Il diodo D1 è necessario solo per proteggere il transistor Q1, nel caso in cui l'impedenza sulla bobina L6 scende a valori troppo bassi "ovviamente funzione del carico in uscita", tali che la corrente nel collettore del transistor diventi eccessiva al punto di distruggere il transistor per effetto Joule;
- La configurazione del transistor scelta è con base a massa, quindi il circuito di reazione si trova tra collettore ed emettitore con guadagno unitario;

Realizzazione e collaudo

La realizzazione é stata effettuata su una basetta millefori, secondo il seguente ordine:

1. Abbiamo realizzato il trasformatore tagliando un nucleo in ferrite in due seminuclei uguali. Gli avvolgimenti del trasformatore sono stati realizzati con filo di rame smaltato di diametro 0.2mm, per garantire un adeguato rapporto tra capacità parassita e corrente nella bobina. I due seminuclei sono stati incollati simmetricamente su una lastrina di vetronite di spessore 1mm;
2. Abbiamo montato per prima cosa il transistor e poi gli altri componenti seguendo lo schema elettrico, cercando di ridurre al minimo la lunghezza delle interconnessioni;
3. L'ultimo componente ad essere montato è stato il trasformatore posto tra l'oscillatore ed il circuito di uscita.



Vista del circuito oscillatore - montaggio su millefori

Finito il montaggio abbiamo collaudato il circuito e si e' osservato il corretto funzionamento del circuito, comparando le uscite della simulazione con le forme d'onda viste sull'oscilloscopio.

- Frequenza di oscillazione = 1 MHz sinusoidale
- Tensione di uscita = 9V (con carico 1k e diodo led in serie)
- Corrente d'uscita = 8mA

Commento:

Le misure rilevate nei nostri sei circuiti risultano leggermente diverse tra loro, a causa delle perdite dei componenti passivi che compongono il circuito stesso.

Ovviamente la misura della tensione di uscita risulta essere differente dai risultati di simulazione e, per essere esatti, un po' più bassa, questo perché in simulazione abbiamo supposto che il coefficiente di accoppiamento tra la bobina primaria e la secondaria fosse uguale ad 1. Abbiamo poi osservato che ponendo il coefficiente di accoppiamento uguale a 0.2, i risultati della simulazione sono identici alla realtà della misura.

In conclusione abbiamo dedotto che tagliando il nucleo per ottenere un alto isolamento in tensione, in realtà perdiamo in accoppiamento tra primario e secondario con una conseguente diminuzione della tensione di uscita.

Conclusioni

Il circuito, da noi analizzato e realizzato, è un convertitore DC/DC, capace di trasformare una tensione d'ingresso continua in un diverso valore di tensione in uscita, mantenendo un isolamento tra il circuito primario ed il circuito secondario di 5KV; inoltre abbiamo osservato che il rumore d'uscita è dell'ordine di qualche mV, e com'è noto il rumore è un parametro importante nei generatori di tensione per applicazioni analogiche nel campo dei rivelatori di particelle elementari.

